

PENGARUH VARIASI JARAK ALUR SETENGAH LINGKARAN TERHADAP PENGUATAN VORTENG DAN PENURUNAN TEKANAN PADA SALURAN BERPENAMPANG SEGI EMPAT

Purnami

Teknik Mesin, Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145
E-mail : purnami.ftub@gmail.com

Abstract

This research was done by implementing a closed square cross section channel, where the bottom surface of the channel was semicircle transverse grooved. The frequency of flow oscillation measurement was done by setting up a resistance sensor that is Wheatstone bridge. A resistor of the Wheatstone bridge is place in to a manometer which was filled by water. The manometer is connected to the channel while the sensor is connected to ADC. A U manometer was used to measure the static pressure. Both measurements were done together at severals Reynold number.

Based on the result it is seen that the maximum Strouhal number at Reynold number of 950. Vortex strength increases when Strouhal number increase where the largest vortex strength occurs at the smallest grooved distance with the increase of pressure drop. Oscillating shear stress increase with the increase of Reynold number. This phenomena indicated that highly transport momentum occurs as the Reynold number increase which it is contributed to the vortex strength and fluid exchange.

Keywords : vortex, Reynold

PENDAHULUAN

Pada kecepatan rendah, aliran fluida masih berperilaku bagus dimana partikel-partikel fluida bergerak sepanjang lintasan mulus dalam lempengan-lempengan fluida yang teratur. Tetapi dengan meningkatnya kecepatan, partikel-partikel fluida mulai bergerak acak bahkan tidak terkendali yang ditandai dengan munculnya *vortex* yaitu aliran massa fluida yang partikel-partikelnya berotasi mengelilingi suatu titik pusat tertentu (Streeter, 1983. 85).

Munculnya *vortex* dalam bidang Aerodinamika tidak diharapkan karena dapat mengurangi energi aliran akibat meningkatnya tahanan geser (*drag*). Tetapi dalam bidang Fenomena Transport, *vortex* dapat meningkatkan laju transport (*rate of transport*) seperti perpindahan panas (*heat transfer*) atau perpindahan massa (*mass transfer*).

Dalam upaya penghematan energi, diinginkan agar proses perpindahan panas maupun perpindahan massa berlangsung lebih efisien dalam kondisi aliran laminar, mengingat dalam kondisi laminar terjadinya

penurunan tekanan (*pressure drop*) relatif lebih kecil dari pada kondisi turbulen. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mencapai tujuan ini. Untuk aliran fluida dalam saluran (*channel*) salah satu cara yang ditempuh untuk membangkitkan *vortex* adalah membuat alur (*groove*) dalam saluran dengan arah melintang arah aliran fluida.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui perilaku aliran fluida dalam saluran yang diberi alur melintang arah aliran. Beberapa diantaranya adalah: Adachi dan Uehara (2001) meneliti korelasi antara perpindahan panas dan rugi tekanan (*pressure drop*) dalam saluran dengan alur periodik, mereka menemukan bahwa peningkatan perpindahan panas signifikan setelah pencabangan dua (*bifurcation*) aliran dari kondisi stedi ke aliran osilasi tapi diikuti dengan peningkatan rugi tekanan.

Obi et al. (1995) meneliti secara numerik karakteristik perpindahan panas aliran turbulen dalam saluran dengan alur berbentuk gerigi seperti mata gergaji (*serrated channel*). Dari hasil penelitian ini

disimpulkan bahwa meskipun perpindahan panas dalam saluran meningkat sebagai konsekuensi dari gerakan turbulen fluida, tetapi tidak dapat dihindari rugi tekanan akibat berkurangnya tinggi saluran. Intensitas turbulen meningkat seiring berkurangnya tinggi saluran.

Greiner et al. (2000) melakukan penelitian numerik tentang peningkatan perpindahan panas dalam saluran rata di belakang saluran beralur. Dari penelitian tersebut disimpulkan aliran tak stedi yang berkembang di dalam daerah beralur berlangsung juga dalam daerah saluran rata (tanpa alur) hingga mencapai beberapa kali panjang alur. Hal ini menyebabkan peningkatan perpindahan panas lokal dan gradien tekanan pada aliran stedi di dalam saluran rata.

Wirtz et al. (1999) meneliti korelasi antara perpindahan panas aliran yang berkembang penuh (*fully developed heat transfer*) dan rugi tekanan dalam saluran dengan alur simetri disimpulkan bahwa aliran pada bilangan Reynold $Re \geq 1300$ menjadi berkembang penuh setelah melewati empat pasang alur.

Nishimura et al. (1997) yang melakukan penelitian numerik dan eksperimen (visualisasi) tentang struktur *vortex* dan pencampuran fluida pada aliran berdenyut dalam saluran berpenampang segiempat menyimpulkan bahwa *vortex* utama muncul dalam alur selama fasa deselerasi (*deceleration phase*) dan suatu *vortex* tambahan dibangkitkan pada dinding saluran. Proses pengisian dan pengosongan *vortex* utama menimbulkan pertukaran aliran fluida antara alur dan saluran.

Kunitsugu dan Nishimura (2000) yang meneliti proses pembangkitan aliran yang berosilasi terus menerus (*self-sustained oscillatory flow*) pada saluran beralur menyimpulkan bahwa seiring dengan meningkatnya bilangan Reynold periodisitas aliran (*flow periodicity*) tidak dapat dipertahankan dan besarnya ketidakstedian (*magnitude of unsteadiness*) meningkat searah aliran.

Nishimura et al. (2001) melakukan penelitian numerik dan eksperimen tentang transport momentum osilasi dan pencampuran fluida pada aliran berdenyut dalam saluran beralur segiempat. Dari

penelitian tersebut disimpulkan bahwa panjang alur tidak berpengaruh pada munculnya resonansi hidrodinamik.

Adachi dan Uehara (2003) melakukan penelitian numerik terhadap aliran fluida dalam saluran berpenampang segi empat. Mereka menyimpulkan bahwa aliran stedi dua dimensi (*two-dimensional steady state flow*) pada bilangan Reynold yang relatif kecil menjadi aliran dua dimensi yang bersilasi terus-menerus (*two-dimensional self-sustained oscillatory flow*) setelah mengalami bifurkasi pada bilangan Reynold kritis. Osilasi aliran disebabkan oleh munculnya suatu gelombang yang dikenal sebagai *Tollmien-Schlichting wave*. Dari hasil penelitian tersebut juga diperoleh bilangan Reynold kritis terjadi pada angka $Re = 1016$.

Wijaya (2003) meneliti pengaruh osilasi aliran pada dinding beralur setengah lingkaran melintang terhadap kemampuan pindah panas melaporkan bahwa aliran laminar yang melewati dinding saluran pada $Re = 450$ sampai $Re = 920$ menghasilkan aliran laminar tak stedi yang sederhana dengan *vortex* frekuensi tunggal sedangkan pada $Re = 920$ sampai $Re = 1880$ menghasilkan aliran transisi tak stedi dengan *vortex* tiga frekuensi.

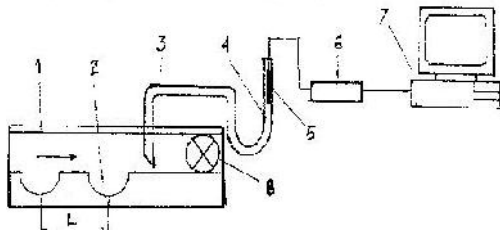
Kang (2001) meneliti peningkatan transport (*transport enhancement*) pada saluran beralur menyatakan bahwa osilasi aliran mulai muncul pada bilangan Reynold $Re = 1050$ dan $Re = 1320$. Pada nilai-nilai Re ini ditemukan bahwa dua sampai tiga gelombang muncul dalam satu panjang geometri periodisitas (*one geometric periodicity length*).

Dari semua penelitian tentang aliran osilasi akibat alur tersebut, hampir belum ada yang membahas bagaimana pengaruh variasi jarak alur terhadap spektrum osilasi *vortex*. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan diteliti perilaku *vortex* pada berbagai variasi jarak antar alur dan kecepatan alir.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium eksperimen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini dilaksanakan dengan

menggunakan metode eksperimen. Variabel bebasnya adalah bilangan Reynold (Re) dan jarak antar alur. Bilangan Reynold divariasikan pada bilangan : 350, 650, 950, 1250, 1550, dan 1850. Sedangkan jarak antar alur divariasikan pada jarak : $\frac{1}{2} K$, $\frac{3}{4} K$, K , dan $1,5 K$, dengan K adalah keliling lingkaran alur sebesar 72,22 mm. Variabel Terikat (*dependent variable*) dalam penelitian ini adalah frekuensi osilasi aliran.



Gambar 1. Instalasi penelitian

Keterangan :

1. Saluran
2. Alur setengah lingkaran
3. Pipa plastik
4. Manometer
5. Sensor tegangan
6. ADC
7. PPI card dan computer
- L. Jarak antar alur

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah fluktuasi tegangan listrik yang identik dengan fluktuasi kecepatan aliran air. Pengambilan data dilakukan dengan cara berikut: data diambil dengan menggunakan sensor tegangan yang ditempatkan dalam manometer berisi air. Manometer dihubungkan dengan saluran. Sensor diletakkan di dalam manometer dengan posisi sebagian tercelup air dan sebagian lain tidak. Hal ini dimaksudkan agar fluktuasi tekanan dalam manometer bisa dideteksi. Selanjutnya sensor dihubungkan dengan ADC. Data ini ditampilkan pada monitor computer dalam bentuk grafik dan teks kemudian disimpan dalam bentuk teks. Untuk menjamin keakuratan, jumlah data yang diambil adalah 400 perdetik dan dilakukan lima kali pengulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

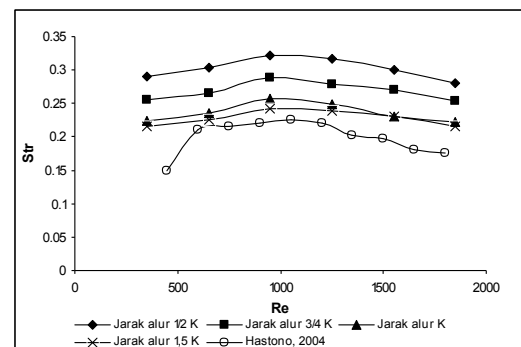
Kekuatan Vortex

Dari hasil penelitian menunjukkan pada setiap jarak alur yang sama frekuensi *vortex* utama semakin meningkat dengan meningkatnya bilangan Re , dan pada bilangan Re yang sama frekuensi *vortex* utama berkurang dengan bertambahnya jarak antar alur. Sedangkan tegangan osilasi pada setiap jarak alur meningkat dengan meningkatnya bilangan Re , dan pada bilangan Re yang sama tegangan osilasi menurun dengan bertambahnya jarak alur.

Disamping itu pada setiap jarak alur terdapat *vortex* tunggal yang dominan (*vortex* utama), 2 *vortex* yang dominan, dan 3 *vortex* yang dominan. Menurut Wijaya (2003:41-42) daerah dengan 1 frekuensi *vortex* yang dominan menunjukkan aliran laminar *unsteady*, daerah dengan 2 frekuensi *vortex* dominan menunjukkan aliran pra transisi *unsteady*, dan daerah dengan 3 frekuensi *vortex* dominan menunjukkan aliran transisi *unsteady*.

Bilangan Strouhal

Bilangan Strouhal (Str) merupakan perbandingan kecepatan osilasi dan kecepatan aliran bebas, maka bilangan Str dapat diidentikkan dengan kecepatan perpindahan massa aliran fluida.



Gambar 2. Grafik hubungan Bilangan Str vs Bilangan Re pada setiap jarak alur

Pada bilangan Re 350 - 950 bilangan Str meningkat dengan meningkatnya bilangan Re . Hal ini dapat dijelaskan bahwa terjadinya resirkulasi aliran di dalam alur akan meningkatkan ketidakstabilan aliran

yang disebabkan gaya inersia dan gaya *viscous*. Pada daerah ini gelombang *tollmine-scholitingn* yaitu aliran yang berisolasi akibat resonansi yang terjadi pada frekuensi naturalnya, sehingga kecepatannya relatif lebih kecil dari kecepatan aliran bebasnya (nishimura *et al.*, 2001), sehingga fluktuasi kecepatan dan energi kinetik osilasi masih relatif lebih kecil di dalam sub lapisan *viscous* (Calvert, 2003). Keadaan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan fluktuasi kecepatan dan energi kinetik osilasi aliran belum mendapat perlawanan dari gaya *viscous*, sehingga peningkatan ketidakstabilan aliran akan meningkatkan frekuensi osilasi. Di samping itu, karena osilasi fluida yang masih kecil dalam batas frekuensi naturalnya akan menyebabkan pertumbuhan *vortex* tambahan menjadi lemah. Peningkatan energi kinetik osilasi akibat ketidakstabilan aliran meningkatkan frekuensi utama, sehingga bilangan Str meningkat.

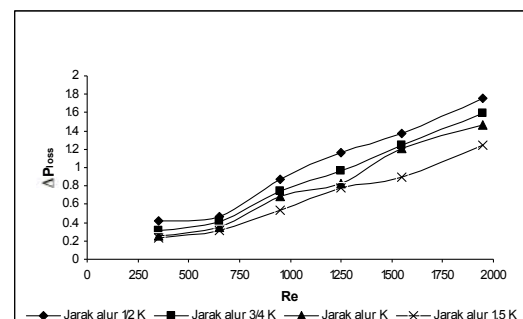
Pada bilangan Re 950 -1850 bilangan str menurun dengan meningkatnya bilangan Re. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya bilangan Re, maka resirkulasi aliran di dalam alur semakin meningkat. Pada daerah ini fluktuasi kecepatan dan energi kinetik osilasi meningkat, akan tetapi peningkatannya mendapat perimbangan dari gaya *viscous*, sehingga ketidakstabilan aliran semakin meningkat. Ketidakstabilan aliran menyebabkan ketidakstabilan frekuensi harmonik pada osilasi fluida yang kecil, sehingga meningkatkan ketidakstabilan amplitudo osilasi *self-sustained* (Nishimura *et al.*, 2001). Kondisi tersebut akan mendorong osilasi fluida yang kecil keluar dari frekuensi naturalnya. Hal ini menyebabkan pertumbuhan *vortex* tambahan menjadi kuat dan dominan. Meningkatnya resirkulasi aliran di dalam alur menyebabkan osilasi *self-sustained* aliran (aliran *vortex*) semakin meningkat sebagai konsekuensi dari pengisian dan pengosongan alur. Peristiwa ini dipandang sebagai separasi aliran (Nishimura *et al.*, 1997). Terjadinya separasi aliran akan diikuti dengan pertukaran molekul-molekul fluida di dalam dan di luar alur, sehingga pergeseran antar molekul di dalam fluida meningkat. Meningkatnya pertukaran dan pergeseran antar molekul fluida, menyebabkan energi molekul fluida

meningkat dan disebarkan keseluruh fluida sehingga temperatur fluida meningkat. Peningkatan temperatur fluida ini disebut *viscous dissipation* (Wijaya, 2003). Keadaan tersebut di atas akan mengakibatkan osilasi aliran mulai kehilangan energi kinetik, sehingga menyebabkan peningkatan bilangan Str menurun. Fenomena tersebut terjadi pada setiap jumlah alur.

Dari gambar 2. tampak bahwa penguatan bilangan Str terjadi ketika jarak antar alur dijadikan semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan semakin kecilnya jarak antar alur, maka resirkulasi dan olakan aliran di dalam alur yang diakibatkan alur pertama yang belum teredam langsung berinteraksi dengan resirkulasi dan olakan aliran yang diakibatkan alur kedua. Interaksi ini menyebabkan periodik osilasi semakin meningkat. Periodik osilasi dari alur ke alur semakin meningkat akibat meningkatnya serangan osilasi *self-sustained* ke arah hilir. Pertukaran molekul-molekul fluida antara alur dan saluran semakin meningkat, akibatnya energi kinetik osilasi yang berhubungan dengan kekuatan vortex tersebar keseluruh molekul-molekul fluida. Meningkatnya serangan osilasi *self-sustained* menyebabkan energi kinetik osilasi semakin meningkat, akan tetapi peningkatannya semakin berkurang dengan semakin meningkatnya jarak antar alur di dalam saluran. Hal ini sesuai dengan penjelasan Nishimura *et al.*, (2001).

Pressure Drop

Dari hasil penelitian data pressure drop dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Grafik hubungan pressure drop vs Bilangan Re

Dari grafik tampak bahwa *pressure drop* meningkat dengan meningkatnya bilangan Re. Pada saat aliran memasuki permukaan rata sebuah alur kecepatannya masih relatif seragam dan kondisi aliran *irrational*. Pada daerah ini gradien tekanan dekat dinding masih nol, dikarenakan belum terjadi pemisahan (separasi) lapisan batas.

Ketika aliran melewati titik stagnasi perubahan permukaan, terjadi fluktuasi kecepatan yang mendorong lapisan batas menjauhi dinding dengan pemisahan terbatas. Akibatnya terjadi gradien tekanan dekat dinding. Peristiwa tersebut akan meningkat dengan meningkatnya bilangan Re.

Adanya alur dalam saluran yang membangkitkan *self-sustained oscillatory flow* sangat mempengaruhi *pressure drop*. Aliran yang berosilasi menginduksi tegangan reynold (*reynold stress*) mampu meningkatkan difusi momentum yang mengangkut energi dari lairan utama ke aliran osilasi dan mempertahankannya. Akibatnya *pressure drop* pada aliran utama meningkat dengan munculnya aliran osilasi (Adachi, dan Uehara. 2001).

Dari grafik terlihat bahwa peningkatan *pressure drop* secara drastis terjadi pada bilangan reynold 650. Hal ini terjadi karena pada bilangan reynold tersebut telah terjadi *self sustained oscillatory flow* dimana sebagian energi aliran utama diserap oleh aliran osilasi. Kondisi ini menyebabkan fluktuasi kecepatan dan pemisahan lapisan batas semakin meningkat ke arah hilir. Akibatnya terjadi perbedaan tekanan di sisi masuk dan sisi keluar aliran, di mana tekanan sisi masuk relatif lebih besar dari pada tekanan sisi keluar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Aliran dalam saluran perpenampang segiempat yang diberi alur setengah lingkaran melintang terdapat pergeseran nilai bilangan Reynold untuk menghasilkan aliran transisi tak steady. Pada jarak alur $\frac{1}{2}$ K aliran transisi tak stedi terjadi pada bilangan Reynold 1250, pada jarak alur $\frac{3}{4}$ K aliran transisi tak stedi terjadi pada bilangan Reynold 1550,

sedangkan pada jarak alur K aliran transisi tak stedi terjadi pada bilangan Reynold 1850. Pada jarak alur $1,5$ K tidak dihasilkan aliran transisi tak stedi.

2. Pada rentang bilangan Reynold 350-950 bilangan Strouhal meningkat dan mengalami kecenderungan turun pada rentang bilangan Reynold 950-1850. Hal ini sekaligus menunjukkan bahwa bilangan strouhal maksimum terjadi pada bilangan Reynold 950.
3. *Pressure drop* meningkat seiring meningkatnya bilangan Reynold dan peningkatannya drastis pada Reynold dimana mulai terjadinya *self-sustained oscillatory flow*. Nilai *pressure drop* paling tinggi terjadi pada jarak alur $\frac{1}{2}$ K diikuti oleh $\frac{3}{4}$ K, K dan $1,5$ K.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Steeter, V.L. and Wylie, E.B. 1983. *Fluid Mechanics*, Seventh Edition. McGraw-Hill International Book Company.
- [2] Obi, S.; Kobayashi, K.P.; Bethancourt, A.M.; Yoshida, H.; Asano, T. and Echigo, R. 1995. Experimental and Computational Study of Turbulent Heat Transfer Characteristics in Serrated Channel Flow, *Int. J. Heat and Fluid Flow* 16: 398 – 404.
- [3] Greiner, M.; Tufo, H.M.; Fischer, P.F.; Wirtz, R.A., 2000. Three Dimensional Simulations of Enhanced Heat Transfer in a Flat Passage Downstream from a Grooved Channel, *Proc. 34th National Heat Transfer Conference, Pittsburgh, Pennsylvania*.
- [4] Wirtz, R.A. Huang, F. and Greiner, M. 1999. Correlation of Developed Heat Transfer and Pressure Drop in a Symmetrically Grooved Channel, *Journal Heat Transfer Transaction of ASME* Vol. 121:236-239.
- [5] Nishimura, T.; Morega, A.M.; and Kunitsugu, K. 1997. Vortex Structure and Fluid Mixing in Pulsatile Flow Through Periodically Grooved Channels at Low Reynold Numbers, *JSME International Journal Series B, Vol. 40, No. 3: 377 – 385*.

- [6] Kunitsugu, T. and Nishimura, T. 2000. The Development Process of Self-Sustained Oscillatory Flow in a Grooved Channel, *Department of Mech. Eng.*
- [7] Nishimura, T.; Yoshinaka, M.; and Kunitsugu, K. 2001. Oscillatory Momentum Transport and Fluid Mixing in Grooved Channels for Pulsatile Flow, *Journal Fluid Eng. Vol. 116*: 499 – 507.
- [8] Adhaci, T. and Uehara, H. 2003. Linear Stability Analisis of Flow an a Periodically Grooved Channel, *International Journal for Numerical Methods in Fluids* (41): 601 -613.
- [9] Wijaya, H. 2003. Pengaruh Osilasi Aliran Pada Dinding Beralur Setengah Lingkaran Melintang Terhadap Kemampuan Pindah panas, *Tesis-S2*, Program Studi teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang.
- [10] Kang, E, 2001. Transport Enhancement for Grooved Channel, <http://www.me.jhu.edu/~htl/people/eric/resrch.htm>.
- [11] Adhaci, T. and Uehara, H. 2001. Correlation Between Heat Transfer and Pressure Droop in Channels With Periodically Grooved Parts, *International Journal of Heat and Mass Transfer* (44): 4333 – 4343.